

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav fyzioterapie

Patrik Vymyslický

**Morfologické a funkční změny nohy během vývoje jedince**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Radek Mlíka, Ph.D

Olomouc 2019

## **Prohlášení o původnosti**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

V Olomouci dne 6. května 2019

-----  
podpis

## **Poděkování**

Zde bych rád věnoval své poděkování vedoucímu práce Mgr. Radku Mlíkovi, Ph.D za cenné rady, připomínky a čas věnovaný vedení této bakalářské práce.

# **Anotace**

**Typ závěrečné práce:** bakalářská

**Název práce:** Morfologické a funkční změny nohy během vývoje jedince

**Název práce v AJ:** Morphological and functional changes of the foot during the development of an individual

**Datum zadání:** 2019-01-31

**Datum odevzdání:** 2019-05-06

**Vysoká škola, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta zdravotnických věd  
Ústav fyzioterapie

**Autor práce:** Patrik Vymyslický

**Vedoucí práce:** Mgr. Radek Mlíka, Ph.D

**Oponent práce:** MUDr. Petr Konečný, Ph.D, MBA

**Abstrakt v ČJ:** Lidská noha je významnou strukturou zajišťující kontakt člověka s vnějším prostředím. Za předpokladu zachování její fyziologické konstituce je schopna být adekvátně flexibilní, ale i rigidní – to vše za účelem zajištění co nejefektivnější bipedální lokomoce. Cílem práce bylo shrnout dosavadní poznatky z hlediska jejího vývoje, a sice aspektem jak strukturálním, tak funkčním. Pro zpracování bakalářské práce bylo pomocí internetových databází PubMed, ScienceDirect, Google Scholar a EBSCO použito 25 anglicky psaných článků. Dále byl také použit jeden internetový zdroj, dva české články, 15 českých knižních publikací a 17 publikací anglických.

**Abstrakt v AJ:** The human foot is an important structure that ensures human contact with the external environment. Assuming that it maintains its physiological constitution, it is able to be adequately flexible, but also rigid – all for the most effective bipedal locomotion. The aim of this work was to summarize existing knowledge in terms of its development, namely both structural and functional aspects. For the creation of bachelor thesis were used 25 articles in English – all of them were found using internet databases PubMed, ScienceDirect, Google Scholar and EBSCO. One internet source, 2 czech articles, 17 books in English and 15 books in Czech were also used.

**Klíčová slova v ČJ:** lidská noha, vývoj nohy, funkce nohy, embryologie člověka, ontogeneze člověka

**Klíčová slova v AJ:** human foot, foot development, foot function, human embryology, human ontogenesis

**Rozsah:** 52 stran/3 přílohy

# Obsah

Úvod .....	8
1 Anatomicko-kineziologické souvislosti .....	10
1.1 Kostí nohy .....	10
1.2 Klouby a vazy nohy .....	11
1.2.1 Horní kloub zánártní .....	12
1.2.2 Dolní kloub zánártní .....	13
1.2.3 Chopartův kloub .....	14
1.2.4 Articulatio cuneonavicularis .....	15
1.2.5 Lisfrankův kloub.....	15
1.2.6 Articulationes metatarsophalangeae .....	15
1.2.7 Articulationes interphalangeae pedis .....	15
1.3 Nožní klenba .....	16
1.3.1 Příčná klenba nožní.....	17
1.3.2 Podélná klenba nožní.....	17
1.4 Svaly participující se na pohybech nohy.....	18
2 Morfologický vývoj nohy .....	20
2.1 Souvislosti z obecné ontogeneze.....	20
2.2 Vývoj končetin a končetinových svalů .....	21
2.3 Objektivizace stáří embrya a plodu.....	22
2.4 Poziční vývoj nohy.....	22
2.5 Rozměry nohy v prenatálním období.....	24
2.6 Rozměry nohy v postnatálním období .....	25
2.7 Vývoj kostí nohy .....	25
2.7.1 Ossa tarsi.....	25
2.7.2 Ossa metatarsi.....	26
2.7.3 Ossa digitorum.....	27
2.7.4 Ossa sesamoideum.....	27
2.8 Vývoj kloubů nohy.....	27
2.9 Vývoj svalů, šlach a vazů nohy.....	28
3 Funkční vývoj nohy .....	29
3.1 Funkce nohy .....	29

3.2 Vývoj klenby nožní .....	30
3.2.1 Vývoj podélné klenby .....	30
3.3 Vrozené a získané vady nohy .....	31
3.3.1 Metatarsus adductus .....	31
3.3.2 Pes calcaneovalgus .....	31
3.3.3 Pes equinovarus congenitus (PEC) .....	32
3.3.4 Metatarsus varus congenitus .....	34
3.3.5 Talus verticalis .....	34
3.3.6 Podélně plochá noha .....	35
Závěr .....	37
Referenční seznam .....	38
Seznam zkratk .....	45
Seznam grafů .....	46
Seznam tabulek .....	47
Seznam obrázků .....	48
Seznam příloh .....	49
Přílohy .....	50

## Úvod

Noha představuje významnou strukturu, jež se u lidí z evolučního hlediska přizpůsobila zejména nárokům vzpřímeného stoje a chůze. Tato práce však nepojednává o fylogenetickém vývoji lidské nohy, nýbrž především o vývoji ontogenetickém.

Cílem práce je rekapitulace dosavadních poznatků ohledně vývoje nohy člověka během života z hlediska její funkce a morfologických změn.

Práce je členěna do tří hlavních částí. První část obsahuje shrnutí souvisejících poznatků z oboru kineziologie, funkční anatomie a anatomie popisné. Druhá část je zaměřena na souvislosti z oblasti obecného ontogenetického vývoje člověka, dále pak pojednává o vývoji končetin a morfologickém vývoji nohy. Ten zahrnuje poziční změny nohy zejména v nitroděložní části života, dále pak vývoj kostí, kloubů a měkkých tkání. Závěrečná část práce je soustředěna na vývoj nohy z hlediska její funkce a také funkčnímu vývoji nožní klenby. Konec kapitoly je věnován nejčastějším deformitám nohy.

K vyhledávání odborných článků sloužily elektronické databáze PubMed, Google Scholar, ScienceDirect a EBSCO. Při vyhledávání článků nebylo zadáno časové omezení, přičemž vyhledávání probíhalo od 10. května 2018 do 19. dubna 2019.

Pro vyhledávání v databázích byla použita následující klíčová slova: lidská noha, vývoj nohy, funkce nohy, embryologie člověka, ontogeneze člověka, resp. jejich anglické ekvivalenty: human foot, foot development, foot function, human embryology, human ontogenesis. Tvorba práce byla realizována za použití 9 anglicky psaných článků a 16 anglicky psaných odborných studií. Dále byly využity 2 články české, jeden internetový zdroj, 12 knih v anglickém jazyce a 16 knih v jazyce českém. Jako vstupní studijní literatura byly použity níže uvedené knižní publikace.

ČIHÁK, Radomír, Miloš GRIM a Oldřich FEJFAR. *Anatomie*. 1. 3., upr. a dopl. vyd. Ilustroval Milan MED, ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ. Praha: Grada Publishing, 2011, 534 s. ISBN 978-80-247-3817-8.

DYLEVSKÝ, Ivan. *Anatomie dítěte*. 1. díl, Nipioanatomie. Ilustroval Tomáš LAUB. Praha: České vysoké učení technické, 2014, 427 s. ISBN 978-80-01-05094-1.

MUSCOLINO, Joseph E. *Kinesiology: the skeletal system and muscle function*. 2nd ed. St. Louis, Mo.: Mosby-Elsevier, c2011, xiv, 690 s. ISBN 978-0-323-06944-1.



SADLER, T. W. a Jan LANGMAN. *Langmanova lékařská embryologie*. Přeložil Jiří BRABEC. Praha: Grada Publishing, 2011, xviii, 414 s. ISBN 978-80-247-2640-3.

SAMMARCO, G. James. *Rehabilitation of the foot and ankle*. St. Louis: Mosby, 1995, xiv, 402 s. ISBN 0801677718.

UHTHOFF, Hans K. *The embryology of the human locomotor system*. New York: Springer-Verlag, 1990. ISBN 0387520287.

# 1 Anatomicko-kineziologické souvislosti

Noha je označení pro segment dolní končetiny, jež je ohraničen štěrbinou hlezenního (horního zánártního, nebo také talokrurálního) kloubu. Rozděluje ji na tři části – přednoží, středonoží a zánoží. Z funkčního pohledu je nutností rozlišovat dva podélné paprsky nohy, a sice paprsek mediální a laterální (Dylevský, 2017, s. 139).

## 1.1 Kostí nohy

Kostra nohy je tvořena třemi oddíly: tarsus (zánártí), metatarsus (nárt) a phalanges digitorum (články prstů) (Dylevský, 2009, s. 192).

Ossa tarsi (kosti zánártní) zahrnuje sedm kostí. Patří sem talus (kost hlezenní) – má kloubní spojení s kostmi bérce; calcaneus (kost patní) – největší tarsální kost; os naviculare (kost loďkovitá) – vpředu se připojuje k talu; tři kostí klínové (os cuneiforme mediale, intermedium et laterale) – neboli ossa cuneiformia a nakonec os cuboideum – nejlaterálnější z tarsálních kostí (Harley, Carola a Noback, 1992, s. 216).

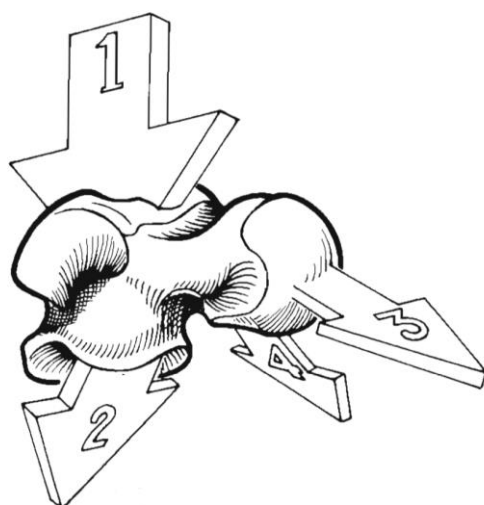
Ossa metatarsi (kosti nártní) tvoří pět kostí dlouhého typu (Petrovický, 2001, s. 409). Nártní kosti se z mediální strany číslují od jedné k pěti (Patton a Thibodeau, 2010, s. 253).

Phalanges digitorum pedis (články prstů) jsou na palci dva a na ostatních prstech po třech (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 304).

Kapandji (1987, s. 174) označuje talus jako nezvyklou kost a toto tvrzení zdůvodňuje třemi poznatky. První spočívá v pozici talu a v jeho funkci rozkladače tíhové síly těla na celou nohu (viz obr. 1). Za druhé zmiňuje absenci jakýchkoliv svalových úponů na talus, přestože v těsné blízkosti probíhá svalů deset. V poslední řadě podotýká absolutní pokrytí talu kloubními plochami a úpony ligament, kterých popsal též deset. V souvislosti s nepřítomností svalových úponů dále uvádí výrazně slabé cévní zásobení této kosti.

Navzdory chudému cévnímu zásobení talu, popsanému v odstavci výše, uvádí Bartoníček a Heřt (2004, s. 226) celkem pět vstupů nutritivních arterií do talu. Těchto pět cév pochází ze všech tří hlavní arterií zásobujících hlezenní kloub (a. tibialis anterior et posterior a a. peronea).

**Obrázek 1** Distribuce tíhové síly těla skrze talus (Kapandji, 1987, s. 175).



## 1.2 Klouby a vazy nohy

Sklobení nohy zahrnuje několik etází. Patří sem horní kloub zánártní (kloub hlezenní neboli art. talocruralis), kde se stýká tibia, fibula a talus. Dále dolní kloub zánártní, a sice jeho přední část (art. talocalcaneonavicularis) a zadní část (art. subtalaris). Následuje spojení mezi kalkaneem a os cuboideum – art. calcaneocuboidea. dále art. cuneonavicularis (systém skloubení mezi os naviculare a ossa cuneiformia, kam patří i kloubní spojení mezi os cuneiforme laterale a os cuboideum – art. cuneocuboidea. Sklobení tarsálních a metatarsálních kostí představují articulationes tarsometatarsales, mezi jednotlivými metatarsy pak artt. intermetatarsales. Spojení metatarsů s proximálními články prstů označujeme jako artt. metatarsophalangeae a klouby mezi jednotlivými články prstů nazýváme artt. interphalangeae pedis (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 335-336).

Kapandji (1987, s. 166) srovnává MTP a IP klouby nohy s jejich ekvivalenty na horní končetině a jejich důležitost na ruce shledává vyšší.

Kloubní linie, označovaná jako Chopartův kloub, zahrnuje art. calcaneocuboidea a art. talonavicularis. Lisfrankův kloub je pak název pro kloubní spojení kostí klínových, kosti kubické a bazemi metatarsů (Petrovický, 2001, s. 414).

Komplex kloubů nohy, asistovaný axiální rotací v kolenní, je v podstatě ekvivalentem kloubu, jež disponuje třemi stupni volnosti. Propůjčuje noze schopnost adaptovat se na jakoukoliv povrchovou nerovnost a zaujmout libovolnou pozici v prostoru (Kapandji, 1987, s. 150).

### 1.2.1 Horní kloub zánártní

Art. talocruralis (horní kloub zánártní neboli kloub hlezenní) je složený kladkový kloub, v němž artikuluje talus s tibií a fibulou. Kloubní jamku tvoří obě bércové kosti (tibia a fibula tvoří tvar vidlice) a hlavici představuje trochlea tali (Petrovický, 2001, s. 410).

Pohyby v horním zánártním kloubu jsou označovány jako flexe a extenze. Perry a Burnfield (2010, s. 54) píše, že někteří autoři označují za flexi pohyb, jež snižuje úhel v hlezenním kloubu (tedy přiblížení planty k tibií) a za extenzi pohyb opačný, přičemž jiné zdroje naopak uvádí na základě pohybů prstů jako extenzi přibližování planty k tibií. Z neurologického hlediska je správně první terminologie, neboť pohyb nohy vzhůru je součástí primitivní flekční synergie (doprovází flexi v kyčli a koleni) a pohyb nohy dolů je součástí synergie extenční. Řešením této situace bylo zavedení termínů dorsiflexe (pohyb nohy vzhůru, tedy přibližování k tibií) a plantiflexe (pro pohyb nohy dolů) (Perry a Burnfield, 2010, s. 54). V celé práci bude nadále využíváno termínů dorsální flexe (dorsiflexe) a plantární flexe (plantiflexe).

Díky nestejně zakřiveným kloubním plochám zevního a vnitřního okraje talu probíhá bimaleolární osa šikmo, a proto se při plantiflexi v hlezenním kloubu noha dostává do inverzního postavení a talus do pozice valgózní, přičemž při dorsiflexi je tomu naopak. Kladka talu je vepředu asi o 5 mm širší, a proto má talus při dorsální flexi tendenci oba kotníky roztlačovat, kdežto při plantární flexi je vidlice více uvolněná a je možný i lehký pohyb do stran. Roztlačování vidlice přední části talu ukončuje a brzdí dorsální flexi, kdežto plantární flexe končí napětím kloubních vazů a opřením zadního hrbole talu o tibií. Plantární i dorsální flexe v hlezenním kloubu je doprovázena také pohyby fibuly – při plantární flexi je fibula tažena vpřed, při dorsální je tažena vzad a vzhůru (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 337; Dylevský, 2009, s. 196, 198).

Při maximálních pohybech do plantární či dorsální flexe není kotník jediným aktivním kloubem – tarsální klouby vykonají určitý rozsah pohybu, který je sice malý, ale nikoliv zanedbatelný. Při extrémní plantární flexi dojde k oploštění plantárních oblouků a tarsální klouby tak propůjčí několik stupňů rozsahu pohybu. Během extrémní dorsální flexe se naopak většího rozsahu pohybu dosáhne díky zvýšení plantárních oblouků (Kapandji, 1987, s. 152).

Kloubní pouzdro je vepředu i vzadu slabé, nicméně na obou stranách jej vyztužují vazy. Je ukotveno na okrajích artikulačních ploch, ale anteriorně se prodlužuje až na krček talu. Rozlišujeme zde dvě kolaterální ligamenta – lig. collaterale laterale et mediale (Gosling et al., 2017, s. 302-303).

Lig. collaterale mediale se též nazývá lig. deltoideum a je silnější než lig. collaterale laterale (Ellis a Mahadevan, 2010, s. 249). Má tvar vějíře a dělí se na hlubokou a povrchovou část. Povrchová část má tři komponenty – pars tibionavicularis, pars tibiocalcanearis a pars tibiotalaris. Hluboká část lig. deltoideum běží od mediálního kotníku na mediální stranu talu (Sammarco, 1995, s. 6).

Laterální kolaterální vaz má části tři, a sice: lig. talofibulare anterius, lig. calcaneofibulare a lig. talofibulare posterius. Všechny tři části začínají na laterálním malleolu (Ellis a Mahadevan, 2010, s. 249-250). Nejvýznamnější součástí laterálního kolaterálního vazů je lig. talofibulare anterius, jež se označuje jako primární stabilizátor hlezenního kloubu. Tento vaz bývá nejčastěji poraněn při inverzně působících silách. Při přetížení hlezenního kloubu je také hlavní signalizátor bolesti (Dylevský, 2009, s. 196-197).

Přestože jsou kontaktní plochy kyčelních a hlezenních kloubních chrupavek velikostně srovnatelné (cca 1500 mm<sup>2</sup>) a kompresivní zatížení prakticky identické (2 MN na 1 mm<sup>2</sup>), bývá hlezenní kloub postižen degenerativními změnami jen vzácně – prosté zatížení kloubu bude pravděpodobně pouze jeden z mnoha faktorů uplatňovaných při rozvoji degenerativních změn (Dylevský, 2009, s. 198).

Z hlediska stability hlezenního kloubu je nezbytně nutný správný stav syndesmosis tibiofibularis, respektive její pevnost, neboť ruptura se řeší chirurgickým zásahem. Při násilné dorsální flexi hlezenního kloubu však spíše než k ruptuře syndesmosis dojde k fraktuře malleolus lateralis nebo k nalomení tibie (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 337).

Kapandji (1987, s. 148) nazývá hlezenní kloub kotníkem nebo tibiotarsálním kloubem. Má jeden stupeň volnosti v sagitální rovině. Pohyby v něm vznikající jsou klíčové pro chůzi. Jde o skloubení, jež je vystavené extrémnímu mechanickému zatížení během stoje na jedné noze.

### **1.2.2 Dolní kloub zánártní**

Jedná se o kloubní spojení talu s dalšími kostmi, jež umožňuje šikmé naklání skeletu vůči talu. Skládá se ze dvou oddílů: zadního (art. subtalaris) a předního (art. talocalcaneonavicularis). Z laterální strany patří ke komplexu navíc skloubení mezi kalkaneem a os cuboideum – art. calcaneocuboidea (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 337, 339).

Art. subtalaris, tedy zadní oddíl dolního kloubu zánártního, je popisován jako kulovitý kloub, kdy hlavice je situována na kalkaneu a jamka na talu (Dylevský, 2009, s. 198). Kloub je

zpevněn třemi vazy: lig. talocalcaneum laterale, lig. talocalcaneum mediale a lig. talocalcaneum interosseum (Petrovický, 2001, s. 412).

Přední oddíl dolního kloubu zánártního, tedy art. talocalcaneonavicularis, je tvaru sféroidního, kdy hlavicí tvoří caput tali spolu s přední a střední ploškou talu pro kalkaneus. Jamku představuje vpředu os naviculare a dole přední a střední ploška kalkaneu pro talus (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 340). Vazivový aparát tohoto kloubu čítá dva vazy, a to: lig. calcaneonaviculare plantare a z dorsální strany kloubu lig. calcaneonaviculare dorsale (Dylevský, 2009, s. 198).

Pohyby v dolním zánártním kloubu jsou Čihákem, Grimem a Fejfarem (2011, s. 341) označovány jako kombinované, neboť talus a calcaneus jsou spojeny dvakrát – vzadu v art. subtalaris a vpředu v art. talocalcaneonavicularis. Takto je formována jediná šikmá osa pro vzájemné pohyby obou kostí, tudíž i celé nohy. Kapandji (1987, s. 180) v této souvislosti uvádí nutnost klasifikace dolního zánártního skloubení jako kloubu plochého, neboť je geometricky nemožné, aby byly dvě sférické a dvě cylindrické plochy v rámci jednoho kloubního spojení schopny vzájemně se posunovat bez ztráty kontaktu v jednom z nich.

Výše zmíněná osa probíhá od laterální strany zadního okraje kalkanea šikmo anteriorně mediálně do krčku talu a nad os naviculare, přičemž je navíc skloněna zdola zezadu nahoru dopředu. Tarsus pak provádí pohyby kolem této osy jako celek, a sice: inverze nohy (kombinace plantární flexe, addukce a supinace nohy) a everze (abdukce, dorsální flexe a pronace nohy) (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 341).

Kapandji (1987, s. 172) uvádí jedinou pozici artikulární kongruence subtalárního kloubu, a sice pozici bez everze či inverze, kterou označuje jako střední.

### **1.2.3 Chopartův kloub**

Art. tarsi transversa (Chopartův kloub) je klinický název pro skloubení talu s os navicularis (art. talonavicularis) a kalkaneu s os cuboideum (art. calcaneocuboidea). Kloubní štěrbinu má tvar písmene S (Dylevský, 2009, s. 199). Čihák, Grim a Fejfar (2011, s. 340) označují Chopartův kloub jako jednotku funkční a podotýkají její důležitost z hlediska pružnosti nohy a chirurgických intervencí.

Mezi ligamenta zpevňující Chopartovo skloubení patří lig. talonaviculare dorsale, lig. bifurcatum, lig. calcaneonaviculare plantare, lig. calcaneocuboideum plantare a lig. cuboideonaviculare. Ligamentum bifurcatum je označováno jako tzv. klíč Chopartova kloubu, neboť až po jeho přetnutí je umožněno otevření tohoto kloubního spojení (Petrovický, 2001, s. 413).

#### **1.2.4 Articulatio cuneonavicularis**

Jedná se o tuhé kloubní spojení, propojující tři ossa cuneiformia a os naviculare, ossa cuneiformia mezi sebou a os cuneiforme laterale s os cuboideum (art. cuneocuboidea) (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 341).

Pohyby v tomto kloubu jsou minimální. Je možná mírná plantiflexe a dorsiflexe, nicméně výraznějším pohybům brání interosseální dorsální a plantární vazy. Tuhost těchto kloubů se podílí na udržení podélné klenby, přičemž možnost mírných pohybů přispívá celkové flexibilitě nohy (Sammarco, 1995, s. 7).

#### **1.2.5 Lisfrankův kloub**

Jedná se o kloubní spojení mezi kostmi klínovými, kostí kubickou a bazemí metatarsů (Petrovický, 2001, s. 414).

Kloubní štěrbinu je klikatá a v místě os cuneiforme intermedium se nechází nápadný zářez, neboť je zde báze druhého metatarsu posunuta o 3-5 mm proximálně. Synoviální prostory spolu komunikují, kromě prvního tarsometatarsálního spojení, jež má synoviální dutinu samostatnou. První TMT kloub je navíc schopen plantární flexe, dorsální flexe a rotace (Dylevský, 2009, s. 200).

Dle Čiháka, Grima a Fejgara (2011, s. 342) jsou vlastní funkcí Lisfrankova kloubu malé pasivní pohyby při změnách zatížení nohy, přičemž čtvrtý a pátý metatars disponuje oproti zbylým třem větší pohyblivostí, z tohoto důvodu se zevní okraj nohy přizpůsobuje terénu lépe.

#### **1.2.6 Articulationes metatarsophalangeae**

Jedná se o skloubení hlavic metatarsů s proximálními články prstů (Gosling et al., 2017, s. 308), jejichž pohyblivost ale není velká – možné jsou pohyby ve smyslu plantární a dorsální flexe, abdukce a addukce prstů (Dylevský, 2009, s. 200).

Základní poloha MTP kloubů při stoji je mírná dorsální flexe. Střední poloha je v mírné plantiflexi (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 344). Kapandji (1987, s. 166) zdůrazňuje důležitost prvního MTP kloubu, tedy palcového, během kroku.

#### **1.2.7 Articulationes interphalangeae pedis**

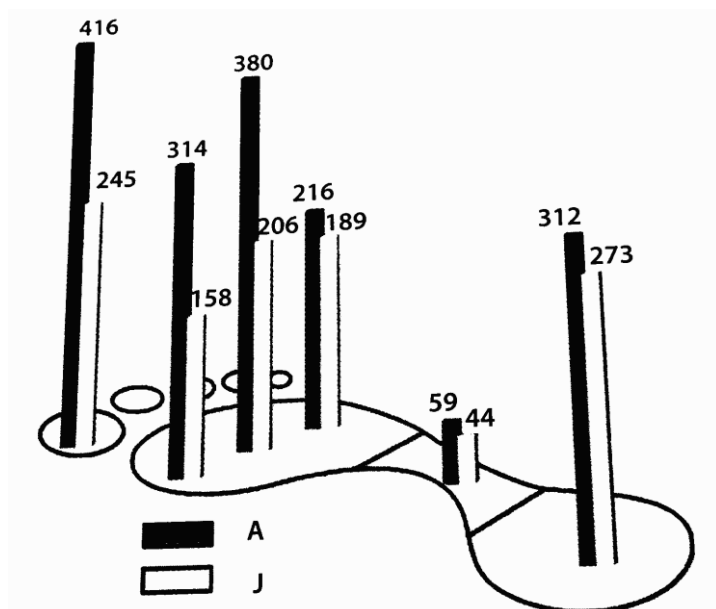
Morfologicky se jedná o kladkové klouby umožňující pohyby do dorsální a plantární flexe (Gosling et al., 2017, s. 308). Dungal (2014, s. 50) však říká, že v IP kloubech není možné provést dorsiflexi.

Interfalangeální klouby čtvrtého a pátého prstu jsou často přeměněny v synostózy (Dylevský, 2009, s. 200-201; Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 344).

### 1.3 Nožní klenba

Mezi opěrnými body nohy (hrbolem kalkaneu, hlavičkou prvního a pátého metatarsu) jsou vyvinuty dva systémy kleneb – příčné a podélné, přičemž podélná se dá považovat za dva oddělené oblouky. Obě klenby mají protektivní funkci ve vztahu k měkkým tkáním plosky a jsou schopny umožnit pružný nášlap. (Dylevský, 2009, s. 201; Sammarco, 1995, s. 30).

**Obrázek 2.** Zatížení nohy stojícího dospělého člověka (A, 25 let) a osmiletého dítěte (J). Dodržena normativní výška a hmotnost těla pro danou věkovou kategorii, hodnoty tlaku v kPa (Dylevský, 2017, s. 138).



Význam udržení obou kleneb spočívá v zajištění pružné chůze, stoje a dalších pohybových automatismech. Klenby jsou udržovány pasivně (tvar a architektura kostí, klouby a vazy) a aktivně (svalový aparát nohy a bérce), a sice příčnou klenbu drží struktury jdoucí příčně (zejména šlašitý třmen), podélnou klenbu pak struktury orientované podélně (Dylevský, 2009, s. 202).

Nášlapná plocha chodidla je podmíněna stavem příčné i podélné klenby. Pokud dojde k oslabení svalů a protažení vazů, poklesne mediální strana nohy, změní se nášlapná plocha ve smyslu jejího rozšíření a vzniká tzv. pes planus, noha plochá. Pro ni je charakteristický



pokles mediálního malleolu a odklonění osy kalkaneu od vertikály (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 346).

Kapandji (1987, s. 218-224) nazývá nožní klenbu klenbou plantární a uvádí tři oblouky, které tvoří její oporu. První, nejkratší a nejnižší oblouk, nazývá předním a nachází se mezi hlavičkami prvního až pátého metatarsu. Druhý, laterální, delší a vyšší než přední, má první oporný bod na hlavici pátého metatarsu a druhý na posteromediálním a posterolaterálním hrbole kalkanea. Poslední, třetí, mediální, nejvyšší a nejdelší oblouk, se rozkládá mezi hlavici prvního metatarsu a zadním koncem kalkanea.

Plantární oblouky jsou přizpůsobeny zátěži, absorpci nárazů a umožňují adaptaci nohy na terénní nerovnosti. Při zatížení se oblouky oploští, nicméně po odstranění zátěže nabývají původního tvaru (Sammarco, 1995, s. 31).

### **1.3.1 Příčná klenba nožní**

Tato klenba je zformována díky zaklínění tarsálních kostí a bazemi kostí metatarsálních. Při zatížení se oplošťuje, což se projeví rozšířením přednoží, což zmiňuje i Dungl (2014, s. 52). Tento fakt je potřeba zvážit při výběru obuvi za účelem zajištění dostatečně prostorné boty (Hamill et al., 2015, s. 216).

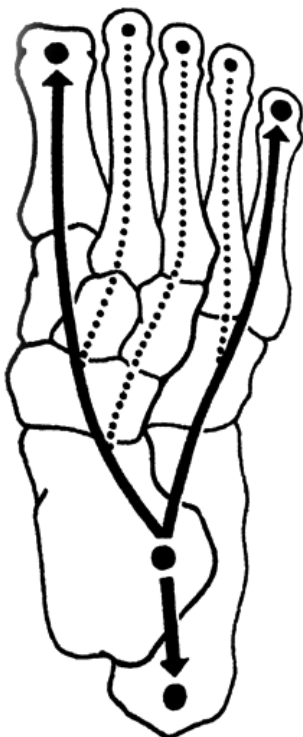
Příčná klenba nožní se nachází mezi hlavičkami prvního až pátého metatarsu a nejvýraznější je v oblasti ossa cuneiformia a os cuboideum. Její celistvost je podmíněna napříč probíhajícími vazy na plantární straně a také šlašitým třmenem, jež je tvořen šlachami m. tibialis anterior a m. fibularis longus (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 345-346; Dylevský, 2009, s. 201).

### **1.3.2 Podélná klenba nožní**

Podélnou klenbu můžeme rozdělit na mediální a laterální oblouk. Mediální je relativně vysoký a brání kontaktu podložky s mediální částí plosky, přičemž je také flexibilnější než oblouk laterální a hraje významnou roli při absorpci nárazů během lokomoce (Sammarco, 1995, s. 30).

Gosling et al. (2017, s. 309) rozlišují dva podélné paprsky. Paprsek vnitřní, jež je tvořen talem, os naviculare, ossa cuneiformia a prvním až třetím metatarsem. Vnější paprsek formuje kalkaneus, os cuboideum a dva nejlaterálnější metatarsy. Oba paprsky jsou proximálně blíže a směrem distálním se rozbíhají do tvaru vějíře (viz obr. 3) (Dylevský, 2009, s. 201).

**Obrázek 3** Paprsky podélné nožní klenby a hlavní tlakové body skeletu nohy (Dylevský, 2017, s. 139).



#### 1.4 Svaly participující se na pohybech nohy

Muskulatura pohybující nohou a prsty nohy je početně nízká. Popisujeme 23 svalů operujících v oblasti nohy, přičemž 12 z nich začíná mimo nohu a 11 začíná i končí na noze (Dylevský, 2009, s. 292; Knutzen a Hamill, 1995, s. 255).

V hlezenním kloubu uvádí Čihák, Grim a Fejfar (2011, s. 509) dva pohyby, a sice ve smyslu plantární a dorsální flexe. Při provádění plantární flexe má největší podíl aktivita m. triceps surae, přičemž jeho pomocníky jsou: m. tibialis posterior, m. plantaris, m. peroneus brevis et longus, m. flexor hallucis longus a m. flexor digitorum longus. (Janda, 2004, s. 238). V souvislosti s dvoukloubovým průběhem mm. gastrocnemii uvádí Kapandji (1987, s. 206) ztrátu efektivity těchto svalů při současné flexi v kolenním kloubu, kdežto extenze v kolenním kloubu způsobí relativní prodloužení svalů a tudíž jejich efektivitu zvýší. Pro dorsální flexi je dle Čiháka, Grima a Fejfara (2011, s. 509) hlavním hráčem m. tibialis anterior, mezi pomocné svaly pak řadí m. extensor digitorum longus a m. extensor hallucis longus.

V dolním zánártním kloubu je možná inverze a everze nohy. Inverzi provádí primárně m. tibialis posterior, m. flexor digitorum longus a m. flexor hallucis longus. Jako pomocník je pak uveden jediný sval, a to m. triceps surae (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 509).

Dle Dylevského (2009, s. 292) se však na inverzi podílí i m. tibialis anterior. Everze je realizována aktivitou především dlouhého a krátkého lýtkového svalu, přičemž jim asistuje m. extensor digitorum longus (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 509).

V rámci MTP skloubení jsou realizovány pohyby do plantární flexe (zde se uplatní m. flexor digitorum longus et brevis, m. flexor hallucis longus et brevis, m. quadratus plantae, mm. lumbricales, mm. interossei plantares and dorsales), dorsální flexe (při aktivitě m. extensor digitorum longus et brevis, m. extensor hallucis longus et brevis), addukční (vykonávány mm. interossei plantares a m. adductor hallucis) a nakonec pohyby abdukční (prováděny pomocí mm. interossei dorsales, m., abduktor hallucis a m. abduktor digiti minimi) (Muscolino, 2011, 321-323).

Interfalangovým kloubům prstů je umožněn pohyb do plantární a dorsální flexe. Plantiflexi v palcovém IP kloubu provádí m. flexor hallucis longus. V proximálních IP kloubech zbylých čtyřech prstů je plantiflekční pohyb realizován pomocí m. flexor digitorum brevis, kdežto v distálních skloubeních pohyb vykonává m. flexor digitorum longus. Pohyby ve smyslu dorsální flexe provádí m. extensor hallucis longus pro IP kloub palce a m. extensor digitorum longus et brevis pro proximální i distální IP kloub 2. – 5. prstu (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 510).

## 2 Morfologický vývoj nohy

Morfogeneze představuje průběžný vývoj tvaru a struktury orgánů, tkání či orgánových soustav (Dylevský, 2014, s. 26).

Růst nohy je rychlý zhruba do pátého roku života, následně se zpomalí a noha se prodlužuje o zhruba 9 mm ročně, přičemž růst ustává přibližně mezi 5. a 14. rokem (Dungl, 2014, s. 944).

### 2.1 Souvislosti z obecné ontogeneze

Vývoj jedince neboli ontogeneze začíná splynutím spermií a vajíčka, přičemž tento jev označujeme jako fertilizaci. Ontogeneze jedince končí smrtí. (Malínský a Lichnovský, 2008, s. 9; Čihák, Grim a Fejfar, 2010, s. 31).

Moore a Persaud (2002, s. 2) rozdělují periody vývoje na dva úseky. Jedná se o období prenatalní, tedy před narozením, a období postnatalní, tedy po narození. Prenatalní stádium začíná oplozením a dále se dělí na dvě období, a to na embryonální a fetální. Embryonální perioda trvá prvních osm týdnů intrauterinního života a během něj nastává diferenciací a tvorba základů orgánových systémů. Perioda fetální začíná začátkem devátého vývojového týdne (Lebl a Provazník, 2003, s. 3; O’Rahilly a Müller, 2010, s. 75). Vyvíjející jedinec se označuje v embryonálním období jako zárodek (embryo) a v období fetálním jako plod (fetus) (Malínský a Lichnovský, 2008, s. 9).

V třetím týdnu vývoje probíhá notogeneze neboli vývoj chordy dorsalis, jakožto osového útvaru – budoucí osový skelet. Probíhá také proces neurulace, tedy vznik základu nervové soustavy. Dále dochází ke gastrulaci což je nejmarkantnější proces třetího vývojového týdne a označujeme takto vývoj tří zárodečných listů – ektodermu, entodermu a mezodermu (Sadler a Langman, 2010, s. 65, 77; Malínský a Lichnovský, 2008, s. 26).

V období od čtvrtého do osmého týdne se ze tří zárodečných listů diferencují základy každého orgánu, přičemž na konci osmého týdne získává embryo lidský tvar (Moore a Persaud, 2002, s. 104).

Ektoderm dává vznik tkáním, jež zprostředkovávají kontakt s okolím – jedná se například o kůži, CNS, PNS a smyslové tkáně nosu, oka či ucha (Sadler a Langman, 2010, s. 100).

Mesoderm je možno dělit na mesoderm paraaxiální, intermediární a mesoderm laterální, přičemž paraaxiální mesoderm je segmentovaný a jeho segmenty nazýváme somity. Somity v průběhu dalšího vývoje postupně diferencují na myotom (základ svalové tkáně), sklerotom

(základ kostí a chrupavek) a dermatom (základ škály). Tkáně vzniklé ze sklerotomu a dermatomu se nazývají pojiva (Sadler a Langman, 2010, s. 100).

Dylevský (2014, s. 101, 145) uvádí rozdělení somitů pouze na dva články, a to sklerotom a dermomyotom, přičemž migrací myotomových buněk v šestém týdnu vzniká myotom. Čihák, Grim a Fejfar (2011, s. 43) zdůvodňuje název dermomyotom velmi těsným kontaktem dermatomu a myotomu v rámci mezodermy.

## 2.2 Vývoj končetin a končetinových svalů

Základ končetin vzniká ve čtvrtém týdnu vývoje v podobě mezenchymových pupenů na ventrolaterálního straně embrya. Pupeny dolních končetin se vyvíjí asi o dva dny později než pupeny končetin horních (Moore a Persaud, 2002, s. 434, 448; Barry, 2005, s. 794

Pupeny končetin obsahují také myoblasty, tedy předchůdce svalových vláken (Moore a Persaud, 2002, s. 437). Tento mezodermální pupen pokrývá tenká vrstva ektodermy (Dungl, 2014, s. 189). V šestém týdnu se pupen mění v hyalinní chrupavku procesem nazývaným chondrifikace (Sadler a Langman, 2010, s. 151-152).

V centru chrupavčitých modelů se vytvoří primární osifikační centrum a z něj začíná v sedmém týdnu tvorba kostí. Do dvanáctého týdne jsou ve všech dlouhých kostech přítomna primární osifikační centra (Moore a Persaud, 2002, s. 437).

U dlouhých kostí začíná osifikace z primárního osifikačního centra ve středu diafýzy a postupuje ke koncům budoucí kosti. Diafýza je při ukončení prenatalního období většinou zkostnatělá, epifýzy však nikoliv. Ty osifikují až pomocí sekundárních osifikačních center, které v nich vznikají začátkem postnatalního období. Mezi diafýzou a epifýzou se nachází chrupavčitá růstová ploténka, jež je esenciální pro růst kosti. Zaniká až když kost svůj růst dokončí (Sadler a Langman, 2010, s. 154).

Člověk disponuje v embryonálním období dvěma způsoby osifikace. První způsob vzniku kosti spočívá v novotvorbě kostní tkáně z vaziva a nazýváme jej desmogenní nebo endesmální. Druhou možností je vznik kosti nahrazením jejího chrupavčitého modelu, tedy osifikace chondrogenní. Chondrogenní osifikace se dále dělí podle toho, ve které části chrupavky probíhá, a sice na perichondrální (povrchové kostnatění) a enchondrální (kostnatění uvnitř chrupavek). Kostí končetin, mimo část klíční kosti, osifikují chondrogenně (Čihák, Grim a Fejfar, 2010, s. 78-79).

První známky končetinových kosterních svalů jsou pozorovatelné v sedmém vývojovém týdnu. Tyto svaly vznikají z myoblastů, jež jsou v blízkosti základů kosti. Tyto svalotvorné

buňky mají svůj původ v somitech, a sice ve ventrolaterální části dermomyotomu, ze kterých migrovaly do končetinových pupenů, jedná se tedy o svalstvo hypaxiální. V končetinových pupenech tvoří přední a zadní svalový blastém, tedy první morfologicky dobře popsanou vývojovou fázi určité struktury (Dylevský, 2014, s. 96), který je základem pro jednotlivé budoucí svaly. Z předního blastému vznikají flexory, ze zadního pak extenzory. Inervace se formuje již od počátku tvorby končetiny vrůstáním předních větví daných míšních nervů (Moore a Persaud, 2002, s. 428; Sadler a Langman, s. 170; Čihák, Grim a Fejfar, 2010, s. 364).

Navzdory tvrzením předešlých autorů uvažují Malínský a Lichnovský (2008, s. 136) o tom, zda svalstvo končetin vzniká migrací z adekvátních myotomů, či zda je jeho vznik podmíněn mezodermem končetinových základů a tvoří se na místě. Východisko označují za nejisté (Malínský a Lichnovský, 2008, s. 136).

### **2.3 Objektivizace stáří embrya a plodu**

Embrya či fěty lze objektivizovat metricky (Dylevský, 2014, s. 52). Ve třetím a na počátku čtvrtého týdne nejsou ohnutá, přímým měřením tedy získáme nejdelší hodnotu – greatest length (GL). U starších jedinců využíváme často délku v sedě neboli temenokostrční délku – crown-rump length (CRL). Temeno ani kostrč však u embryí nepředstavují pevný bod, proto se za nej přesnější údaj považuje ta největší délka. Délka embrya je však pouze jedním z kritérií odhadu stáří, proto se mezinárodně užívá rozdělení na stádia embryí dle Carnegie (Moore a Persaud, 2002, s. 103).

Embryonální období člověka je rozděleno do 23 Carnegie stádií, jež zahrnují prvních osm týdnů po ovulaci. Stádia se odvíjí od vnějšího či vnitřního morfologického vývoje embrya, nejsou tedy přímo závislé na věku či velikosti. Příloha 1 (viz Přílohy, s. 56) uvádí vztah mezi Carnegie stádii, délkou a postovulačním věkem embrya. Gestační věk (měřený od prvního dne poslední menstruace) zjistíme připočtením dvou týdnů k věku postovulačnímu (Hill, 2019).

### **2.4 Poziční vývoj nohy**

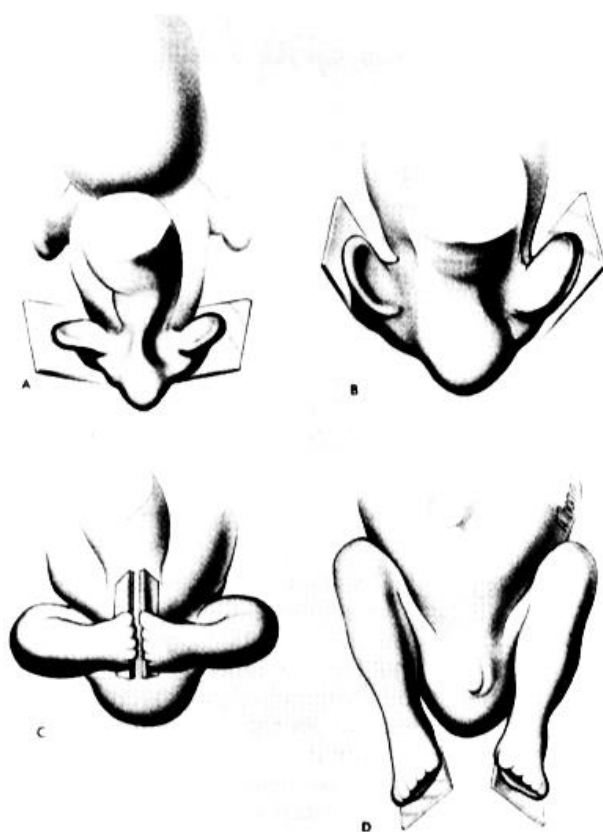
Koncem šestého týdne (Carnegie stádium 17) se na distálním konci pupenu vytvoří prstová ploténka, základ budoucí nohy. Z důvodu zevní rotace celé dolní končetiny směřuje plantární plocha prstové ploténky kраниálním směrem (Uthoff, 1990, s. 141; O’Rahilly a Gardner, 1975, s. 18). Tato poloha je popsána jako pozice supinační (Böhm, 1929 in O’Rahilly a Gardner, 1975, s. 18), nicméně je těžké určit, co je tímto pojmem v takto raném vývojovém stádiu myšleno (O’Rahilly a Gardner, 1975, s. 18).

Na prstové ploténce se začátkem osmého týdne (stádium 20) objevují zářezy a noha je plantárně flektovaná. Během 21. stádia se zářezy prohlubují a ploténky tak nabývá vějířovitého vzhledu. Se snižující se zevní rotací celé dolní končetiny začíná plantární plocha nohy směřovat více mediálně (Uhthoff, 1990, s. 141; Kawashima a Uhthoff, 1990, s. 233).

Stupeň plantární flexe (equinus) se začíná od stádia 22 snižovat, což má za následek zvýraznění inverze (varus) a addukce nohy. Na konci embryonálního období (stádium 23) směřují plantární plochy nohy mediálně, tedy naproti sobě a noha je v pozici equinus-varus-adductus. Prsty obou končetin jsou často ve vzájemném kontaktu. Tato poloha se označuje jako „praying feet“. Stupeň ekvinózy, varozity a addukce se během desátého a jedenáctého týdne snižuje. Na konci jedenáctého postovulačního týdne získává noha téměř normální postavení a ve třináctém týdnu dosáhne dospělé orientace (Miedzybrodzka, 2003, s. 39; Uhthoff, 1990 s. 141; O’Rahilly a Gardner, 1975, s. 18).

Pozorování odhalilo, že noha během devátého vývojového týdne prochází pozicí typickou pro deformitu pes equinovarus congenitus (Kawashima a Uhthoff, 1990, s. 233).

**Obrázek 4** Orientace lidské nohy v polovině pátého vývojového týdne (A), v polovině sedmého týdne (B), v osmém týdnu (C) a v týdnu dvanáctém (D) (Jahss, 1982, in Bernhardt, 1988, s. 1832).



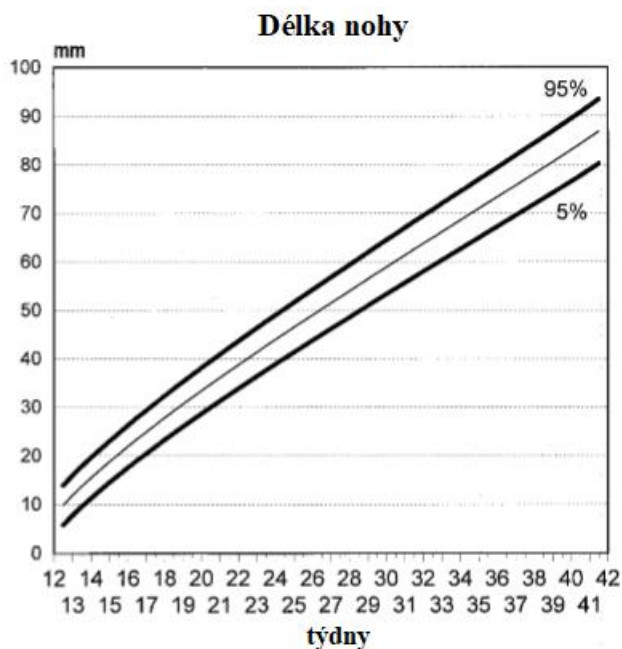
## 2.5 Rozměry nohy v prenatálním období

V rámci intrauterinního života může být délka nohy dobrým ukazatelem stáří jedince (Malas, Salbacak a Sulak, 2001, s. 250). Tato délka (měřená od paty po konec nejdelšího prstu) může být vztažena k CRL délce a umožňuje odhadnout stáří plodu ve fetální periodě (Bossy and Katz, 1964 in O’Rahilly a Gardner, 1975, s. 18).

Na konci embryonálního období je délka nohy přibližně 4,5 mm, v polovině fetálního období dosahuje zhruba 40 mm a při narození je její délka cca 74 mm. V druhé polovině intrauterinního života dostaneme vydělením délky nohy v milimetrech přibližné stáří plodu v postovulačních týdnech. Jako příklad uvádí O’Rahilly a Gardner (1975, s. 19) fétus s délkou nohy 50 mm, přičemž by tento plod měl být starý zhruba 25 postovulačních týdnů (Scammon and Calkins, 1929 in O’Rahilly a Gardner, 1975, s. 18-19).

Merz, Oberstein a Wellek (2000, s. 79) ultrazvukovou metodou měřili nohy 610 fétů mezi 12. a 42. menstruačním týdnem. Od 24. týdne rostla délky nohy zhruba lineárně vůči stáří plodu, do té doby byl nárůst mírně strmější (viz graf 1).

**Graf 1** Růst délky nohy v milimetrech (5., 50. a 95. percentil) v závislosti na stáří plodu (v týdnech) (Merz, Oberstein a Wellek, 2000, s. 81).



Kellokumpu (1984, s. 567-568) zkoumal 201 jedinců starých sedm až šestnáct menstruačních týdnů. Délka nohy v sedmém týdnu byla 2,9 mm, v desátém týdnu 6,22 mm a 18,5 mm v týdnu šestnáctém (viz příloha 2, s. 57).



Malas, Salbacak a Sulak (2001, s. 251) měřili délku nohy 106 jedinců od konce paty po konečky prstů, šířku nohy pak od nejmediálnějšího bodu prvního MTP kloubu po nejlaterálnější bod pátého MTP kloubu (viz příloha 3, s. 58). Navzdory předchozímu výzkumu změřila trojice autorů délku nohy vyšší, a sice v desátém týdnu 10 mm a v šestnáctém týdnu 24 mm.

## **2.6 Rozměry nohy v postnatálním období**

Studie sledovala devítiletý vývoj nohou 36 zdravých dětí s prvním měřením ve stáří zhruba 14 měsíců a posledním okolo 10. roku. Byl zjištěn vliv výšky jedince na délku a šířku nohy, přičemž rozdíl 5 cm ve výšce (při stejné váze probandů) znamenal zhruba o 0,4 cm delší nohu, ale zároveň o 0,3 cm užší. Významným faktorem ovlivňujícím šířku nohy byla hmotnost, přičemž s každým kilogramem tělesné hmotnosti vzrostla šířka o 0,08 cm (Bosch, Gerß a Rosenbaum, 2010, s. 569).

Ve stáří jednoho roku u dívek a 18 měsíců u chlapců dosáhne noha zhruba poloviny předpokládané délky nohy v dospělosti (Nordin a Frankel, 2001, s. 223). U obou pohlaví mezi prvním a desátým rokem nebyl rozdíl v délce nohy, nicméně chlapci měli v průměru o 6 mm širší nohu než dívky (Bosch, Gerß a Rosenbaum, 2010, s. 569-570).

## **2.7 Vývoj kostí nohy**

Talus, calcaneus, os cuboideum, phalanges pedis a ossa metatarsalia jsou při narození již osifikovány, kdežto ossa cuneiformia a os naviculare jsou stále chrupavčité (Dungl, 2014, s. 944).

Od šestého do osmého roku mají kosti dospělý tvar, přičemž celý kostěný vývoj nohy končí mezi 13. a 16. rokem (Dungl, 2014, s. 941). Dylevský (2014, s. 400) uvádí, že talus nabývá dospělého tvaru již ve čtvrtém roce.

### **2.7.1 Ossa tarsi**

Dle studie Viladota et al. (1984, s. 55-56) jsou první náznaky vývoje kostí tarsu rozeznatelné u jedinců starých 43 dnů (stádium 17). Po 50. dnu vývoje jsou tarsální struktury viditelné jasněji. Podobná data uvádí jak Gardner (1959, s. 853, 855), dle kterého jsou základy tarsálních kostí v podobě buněčné kondenzace vytvořeny ve stádiu 17 a 18, tak i Čihák, Grim a Fejfar (2011, s. 302), kteří označují šestý vývojový týden za vznik základů ossa tarsi ve formě nakupení mezenchymových buněk.

Od sedmého týdne začíná probíhat chondrifikace budoucích kostí tarsu (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 302). Calcaneus začíná chondrifikovat ve stádiu 18 a 19, přičemž patní hrbol chondrifikuje zhruba od 21. stádia (Gardner, 1959, s. 853, 855). Ve 23 stádiu chondrifikují všechny budoucí kosti nohy, vyjma kůstek sezamských (Uhthoff, 1990, s. 141).

Osifikace je patrná již v prenatální části života, přičemž každá tarsální kost osifikuje z jednoho osifikačního jádra (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 302). Kost patní začíná osifikovat z tarsálních kostí jako první, a to zhruba ve třináctém vývojovém týdnu (Uhthoff, 1990, s. 142). K tomuto tvrzení se přiklání i Gardner (1959, s. 857) a Čihák, Grim a Fejfar (2011, s. 302), kteří však uvádí větší rozmezí počátku osifikace kosti patní, a to třetí až čtvrtý vývojový měsíc. Talus začíná dle Uhthoffa (1990, s. 142) osifikovat v sedmém měsíci nebo později, nicméně Čihák, Grim a Fejfar (2011, s. 302) označují za počátek kostnatění talu měsíc šestý (Uhthoff, 1990, s. 142). Os cuboideum začíná osifikovat v devátém měsíci. Postnatálně osifikují ossa cuneiformia a os naviculare, přičemž os cuneiforme lat. kostnatí v prvním roce, os cuneiforme med. a intermed. od roku druhého a os naviculare okolo třetího roku. Zánártní kosti jsou až do plné osifikace tvarově různorodé (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 302; Dylevský, 2014, s. 396).

**Tabulka 1** Komparace délky tarsálních kostí při narození (v milimetrech) a nabytí dospělého tvaru kosti (věk dítěte v letech) (Dylevský, 2014, s. 396-400).

Kost	Délka při narození	Dospělý tvar
Os calcaneus	20	7
Talus	5-6	4
Os cuboideum	5	8
Os naviculare	4-6	8
Ossa cuneiformia	neuveveno	6

### 2.7.2 Ossa metatarsi

V polovině šestého týdne začíná tvorba mezenchymových základů metatarsálních kostí. Vějířovité rozložení základů druhého až pátého metatarsu se ztrácí do desátého vývojového týdne. Koncem sedmého týdne začínají nártní kosti chondrifikovat. (Dylevský, 2014, s. 400).

Chondrifikace začíná jako první u druhého a čtvrtého metatarsu, po nich u kosti kubické s metatarsu pátého. Pátý metatars začíná chondrifikovat ve stádiu 18, přičemž jeho tuberositas chondrifikuje až ve stádiu 23 (Gardner, Gray a O’Rahilly, 1959, s. 853, 855).

Ze všech kostí nohy začínají metatarsy osifikovat jako první, a sice během devátého týdne v diafýzách druhého až čtvrtého metatarsu. První a pátý metatars začíná osifikovat až od týdne desátého (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 304; Gardner, Gray a O’Rahilly, 1959, s. 872).

### **2.7.3 Ossa digitorum**

Diferenciace mezenchymových základů začíná během šestého a sedmého týdne vývoje (Dylevský, 2014, s. 402).

Prsty nohy chondrifikují proximodistálním směrem, jako první tedy vzniká kondenzace budoucího proximálního článku, následovaná článkem středním a nakonec distálním. Ve 23. Carnegie stádiu probíhá chondrifikace ve všech člancích (Gardner, Gray a O’Rahilly, 1959, s. 855; Dylevský, 2014, s. 402).

Distální články začínají osifikovat jako první, a to mezi devátým až dvanáctým vývojovým týdnem. Poté podléhají osifikaci i proximální články a nakonec články střední (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 304). Dylevský (2014, s. 403) dodává, že osifikace je časově velmi variabilní.

### **2.7.4 Ossa sesamoideum**

Vývoj sezamských kostí je opožděný vůči vývoji kostí typických (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 305). Mesenchymová kondenzace laterálních a mediálních sezamských kůstek MTP kloubu palce je pozorovatelná v časně fetální periodě (Gardner, Gray a O’Rahilly, 1959, s. 869). Čihák, Grim a Fejfar (2011, s. 305) však uvádí, že základ sezamských kostí netvoří mesenchymální kondenzát, nýbrž uzel hustého, fibrózního vaziva. Základ se totiž tvoří v již vzniklých šlachách ve třetím fetálním měsíci a šlacha tudíž již obsahuje zralé vazivo. Koncem čtvrtého měsíce pak uzel začíná chondrifikovat, přičemž osifikace probíhá až postnatálně okolo 12. roku života. Některé sezamské kůstky, mimo palcové, nemusí osifikovat nikdy (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 305).

## **2.8 Vývoj kloubů nohy**

První vývojové stádium kloubu spočívá v buněčném zahušťování, vzniká tzv. homogenní interzóna, kterou nalezneme mezi chondrifikujícími kostěnými elementy. Homogenní interzóny jsou u MTP kloubů zřetelné v Carnegie stádiu 20, v hlezenním kloubu a mezi většinou tarsálních kostí jsou pak viditelné ve stádiu 21. Na konci embryonálního období, tedy ve stádiu 23, je vytvořena v hleznu a MTP kloubech třívrstevná interzóna.

U zbytku kloubů se se značnou variabilitou objevila třívrstevná interzóna až v období fetálním. Skládá se ze dvou hustých buněčných vrstev oddělených řidší vrstvou. V řídké vrstvě začínou později vznikat dutinky, které se dále spojí v jedinou kloubní dutinu. Tento proces vykazuje značnou variabilitu a nazýváme jej kavitace. Ta je u horního hlezenního kloubu patrná v devátém vývojovém týdnu, přičemž v desátém až jedenáctém týdnu je vytvořena celá kloubní dutina se synoviálním lemováním. V ostatních tarsálních kloubech je kloubní dutina se synoviální výstelkou vytvořena v týdnu čtrnáctém (Gardner, Gray a O’Rahilly, 1959, s. 861; Uhthoff, 1990, s. 142).

## **2.9 Vývoj svalů, šlach a vazů nohy**

Svaly jsou pozorovatelné v osmém týdnu těhotenství (Drennan 1992; Kelikian a Sarrafian 2011, in Fritz a Mauch, 2013, s. 52) a během týdne desátého je patrná jejich nekoordinovaná aktivita (Matthews, 1998, in Fritz & Mauch, 2013, s. 52). Po narození se díky gravitační síle nároky na svaly mění a je nutná svalová koordinace (Tittel, 2003, in Fritz & Mauch, 2013, s. 54-55).

Šlacha jsou obvykle diferencovány ve stádiu 12 a jejich synoviální pochvy, oddělené od šlachy dutinou, se objevují ve stádiu 23. Úpon šlach a ligament nevykazuje čisté ukotvení kolagenních vláken do chrupavčitého základu budoucích kostí. Obvykle se šlacha upínají do tlusté fibrózní perichondrální vrstvy, tedy kolagenní vlákna šlach a vazů se vmíchají do vláken perichondria (Uhthoff, 1990, s. 142). Ve stádiu 20 byla viditelná šlacha m. TP v podobě buněčného kondenzátu, jež se v pozdějším fetálním období přeměnila ve strukturu chrupavčito-vazivovou (Gardner, Gray a O’Rahilly, 1959, s. 865).

Základy ligament byly přítomny ještě před pozorováním kavitací a někdy dokonce i dříve než se objevily třívrstvé interzóny. Ve stádiu 20 dle Carnegie byla pozorována kondenzace buněk v oblasti budoucích kolaterálních a plantárních ligament MTP kloubů. Na konci embryonálního období byla patrná většina ligament nohy ve formě buněčného kondenzátu (Gardner, Gray a O’Rahilly, 1959, s. 863, 873).

### 3 Funkční vývoj nohy

Noha je komplexní strukturou a patří mezi ty nejdynamičtější lidského těla. Hraje výraznou roli v lokomočních procesech, kdy dochází k jejímu styku s externím povrchem a poskytuje tak člověku co nejefektivnější fyzický kontakt s prostředím (Agić et al., 2006, s. 815; Elftman, 1969, s. 49).

Funkční vývoj nohy je závislý na celkovém motorickém vývoji jedince. Funkce nohy závisí na jednotlivých vývojových stádiích, přičemž funkční vývoj je vždy adekvátně zařazen do komplexního tělesného celku (Skaličková-Kováčiková, 2016, in Bajerová, 2016, s. 21).

Noha novorozence je během bdění, stejně jako zbytek jeho těla, stále v pohybu (Walther et al., 2008, s. 181). V prvním půl roce života noha představuje, podobně jako ruka, úchopový orgán. Její důležitost z hlediska opory je patrná až ve třetím trimestru, neboť právě v této době začíná směřování těla do vertikální pozice (Skaličková-Kováčiková, 2016, in Bajerová, 2016, s. 21).

Když dítě začíná chodit, je noha stále v lehké supinaci. Chůze dvouletého dítěte tak chůzi s flektovanými kyčelními a kolenními klouby připomíná spíše chůzi primátů (Walther et al., 2008, s. 181). První stoj dítěte je doprovázen lehkým poklesem longitudinální klenby, přičemž je však osa Achillovy šlachy v rovině s os calcaneum a koleno není v rekurvačním postavení. Pozorovatelná je také flexe prstů zároveň s pozitivním úchopovým reflexem, což však během následujících časových období mizí (Skaličková-Kováčiková, 2016, in Bajerová 2016, s. 22).

Pojivové tkáně dětské nohy nabývají ve školním věku na pevnosti a dospělého stavu dosáhnou v patnáctém roce života. Rozsah kloubů nohy je od patnáctého roku srovnatelný s nohou dospělou (Walther et al., 2008, s. 180).

#### 3.1 Funkce nohy

Lidská noha má dva hlavní funkční smysly, a sice flexibilní a rigidní. Dostatečná flexibilita dovoluje adaptaci na nerovnosti terénu, kdežto adekvátní rigidita je potřebná za účelem zajištění stabilní struktury při chůzi (Kerr et al., 2018, s. 10). Véle (2006, s. 257) píše o schopnosti nohy aktivně terén uchopovat a v případě terénních nerovností poskytnout adekvátní oporu pro pohyb těla, kdežto Foulston (1987, s. 258) vyzdvihuje schopnost nohy kompenzovat velké množství poškození, než je pacientovi kompletně znemožněna chůze. Zdůrazňuje také důležitost velmi pečlivého vyšetření za účelem přesné lokalizace

patologických změn, nicméně Dungal (2014, s. 937) uvádí, že i na pohled markantní deformity nemusí znamenat v průběhu života jakékoliv potíže.

## **3.2 Vývoj klenby nožní**

Ontogenetický základ klenby nožní je položen ve třetím měsíci nitroděložního vývoje (Dylevský, 2017, s. 139). Jako základ vytváření nožní klenby je možno chápat flexi prstů s abdukci metatarsů (Skaličková-Kováčiková, 2016, in Bajerová, 2016, s. 21). Výsledkem vývojového pronačního zkrutu nohy, jež dosáhl horizontálního postavení v oblasti hlaviček metatarsů, ale v oblasti kalkaneu a talu zůstal ve vertikále, je klenba nohy (Vařeka a Vařeková, 2009, s. 43).

Volpon (1994, s. 83) poukazuje na přítomnost ploché nohy u dětí do dvou let věku, přičemž markantní vývoj nožní klenby je pozorovatelný zejména od druhého do šestého roku dítěte. Dle Dylevského (2017, s. 140) končí vývoj nožní klenby v šestém až sedmém roku života, avšak Muscolino (2011, s. 305) uvádí, že u většiny lidí je vývoj kleneb dokončen okolo roku pátého. Skaličková-Kováčiková (2016, in Bajerová, 2016, s. 22) navzdory předchozím dvěma autorům uvádí, že nožní klenby jsou dovyvinuty ve třech letech dítěte.

Celistvost nožní klenby je zajištěna pomocí tří složek, a sice tvarem a architektonikou kostry nohy, vazivovým systémem a dynamickými funkcemi svalů nohy. Z vazů přispívá nejmarkantněji lig. plantare longum a ze svalů dlouhé flexory nohy a povrchové krátké svaly plosky, poté také další struktury jako plantární aponeuróza a šlašitý třmen (Čihák, Grim a Fejfar, 2011, s. 345; Dylevský, 2017, s. 141). Na druhou stranu Dungal (2014, s. 970) označuje svalový význam v problematice nožních kleneb jako přeceňovaný, neboť celistvost příčné a podélné klenby spočívá v nastavení kostí, tarsálních kloubů a tenzi vazů. Nejvyšší statická zátěž je vyvíjena na plantární ligamenta a plantární aponeurózu (Dylevský, 2017, s. 141).

### **3.2.1 Vývoj podélné klenby**

Vývoj podélné klenby nožní je ovlivněn genetickými faktory, tělesnou hmotností, fyzickou aktivitou a obuví (Fritz a Mauch, 2013, s. 56). Přestože je skeletální základ podélné klenby založen už prenatálně, v období kojeneckém je vyplněna tukovým polštářem. Až po dovršení druhého roku dítěte začíná být patrný oblouk longitudinální klenby (Dylevský, 2017, s. 140). Někteří autoři předpokládali, že podélná klenba je vyvinuta už před narozením (Baheler, 1986; Jani, 1986 in Fritz a Mauch, 2013, s. 56). Z prostudované literatury se však

dnes přiklání k poznatku, že děti se rodí s plochou nohou, tudíž ještě nemůže být vývoj klenby ukončen (Fixsen, 1998; Sullivan, 1999 in Fritzch a Mauch, 2013, s. 56).

### 3.3 Vrozené a získané vady nohy

Dungl (2014, s. 937) rozlišuje vady vrozené, které rozděluje na strukturální a polohové a vady získané, jež dělí na deformity statické a sekundární (po úrazech či chorobách).

#### 3.3.1 Metatarsus adductus

Metatarsus adductus je nejčastější deformita nohy u dětí s výskytem zhruba 1:1000 živých porodů, která může být způsobena intrauterinní restrikcí, ale i přílišným polohováním dítěte na břicho (viz obr. 5). Spontánní úprava nastává v 85 – 90 % případů (Dungl, 2014, s. 944; Magee, 2008, s. 865; Webster a Murphy, 2019, s. 305).

Planta má tvar ledviny s vertikální medioplantární rýhou, přičemž pata se nikdy nenachází v ekvinózním postavení. Přednoží je pak rotováno v rámci transverzální roviny mediálně a v rovině frontální disponuje lehkou varozitou (Dungl, 2014, s. 944).

**Obrázek 5** Metatarsus adductus vzniklý polohou na břicho (Dungl, 2014, s. 944).

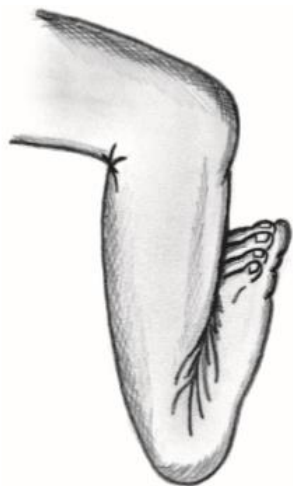


#### 3.3.2 Pes calcaneovalgus

Jedná se o vrozenou vadu, jež spočívá v poloze nohy v everzi, maximální dorsální flexi, přičemž noha může dorsem naléhat na bérec (viz obr. 6). Obvykle vzniká na základě držení nohy v maximální dorsiflexi z důvodu nitroděložní restrikce. Častěji se vyskytuje u dětí mladých matek a prvorodiček, neboť mají pevnou stěnu dělohy. Prevalence je vyšší u dívek (Dungl, 2014, s. 944; Graham a Smith, 2007, s. 31; Kolář, 2009, s. 421).

Pokud je možno dosáhnout neutrální pozice, nevyžaduje deformita speciální péči (Dungl, 2014, s. 945). V případě vady rigidního charakteru volíme léčbu cvičením do žádoucí polohy a instruujeme i rodiče k provádění plantiflexe a inverze vícekrát denně alespoň po deseti opakováních (Kolář, 2009, s. 421). Vadu je nutno odlišit od talus verticalis, kde je nutná operační léčba (Sosna et al., 2001, s. 66).

**Obrázek 6** Pes calcaneovalgus (Dungl, 2014, s. 945).



### 3.3.3 Pes equinovarus congenitus (PEC)

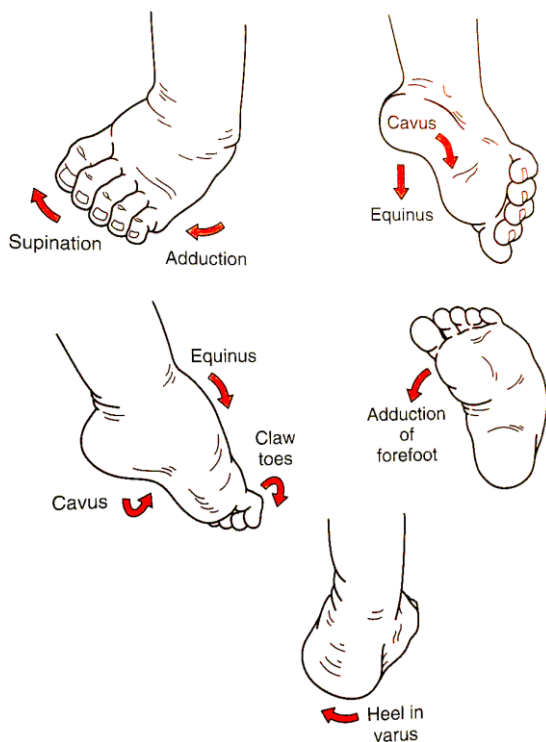
Jedná se o druhou nejčastější vrozenou vadu, přičemž u chlapců se vyskytuje dvakrát častěji než u dívek. Skládá se ze čtyř složek (viz obr. 7), které se projevují v různé intenzitě. Jedná se o ekvinózní postavení v hlezenním kloubu, supinaci patní kosti (a tedy varozita nohy), exkavaci (výrazná klenba ve středu planty) a addukční orientaci přednoží (viz obr. 8) (Dungl, 2014, s. 945; Sosna et al., 2001, s. 64).

Vliv externích faktorů během intrauterinního vývoje je nejstarší hypotéza vzniku PEC formulována Hippokratem (Dungl, 2014, s. 945). Studie 194 případů s deformitou PEC však neprokázala uterinní restrikcí jako významný faktor vzniku této deformity (Cardy et al., 2007), nicméně Wynne-Davies (1965 in Carey et al., 2003, s. 187) intrauterinní omezení jako jeden z faktorů vzniku PEC uvádějí. Vojtaššák (1998, s. 721) označuje při vzniku PEC jako klíčové působení m. tibialis posterior, přičemž bývá přítomna i subluxace v Chopartově kloubu a zkrácení Achillovy šlachy. Dále se na základě studie 239 případů ukázalo kouření matky během těhotenství jako velmi významný faktor rozvoje PEC. U lehkých kuřaček byla šance na vznik PEC 1,5x vyšší než u matek nekouřících, přičemž 3,9x vyšší riziko bylo prokázáno u fumátorek těžkých (Skelly et al., 2002, s. 91). Bacino a Hecht (2014, s. 5) označují kouření



matky dokonce za nejvýraznější environmentální rizikový faktor rozvoje PEC. Výskyt PEC může být také přidružen jiným vrozeným vadám, což se stává u 10 % případů (Sosna, 2001, s. 64).

**Obrázek 7** Složky pes equinovarus congenitus (Magee, 2008, s. 863).



Terapie je obtížná a v podstatě vždy vyžaduje chirurgickou intervenci. Počátek léčby spočívá v tříměsíčním redresním sádrování do plantiflexe a inverze, poté následuje operace s cílem relaxace měkkých tkání a umístění tarsálních kostí do správné polohy za pomoci Kirschnerových drátů (Kolář, 2009, s. 422).

**Obrázek 8** Bilaterální pes equinovarus congenitus (Miedzybrodzka, 2003, s. 39).



### 3.3.4 Metatarsus varus congenitus

Metatarsus varus congenitus je vrozená vada charakterizovaná varózním postavením přednoží vůči tarsu. U velmi podobné vady, metatarsus adductus, se nepřekrývají vzájemně varózní metatarsy a není přítomna vnější subluxe talonavikulárního kloubu (Dungl, 2014, s. 960).

Úprava méně závažných vad nastává samovolně, avšak u rigidnějších případů je indikováno redresní sádrování. K chirurgickému řešení se přistupuje až po selhání konzervativní terapie, a to nejdříve ve čtyřech letech dítěte (Kolář, 2009, s. 422).

### 3.3.5 Talus verticalis

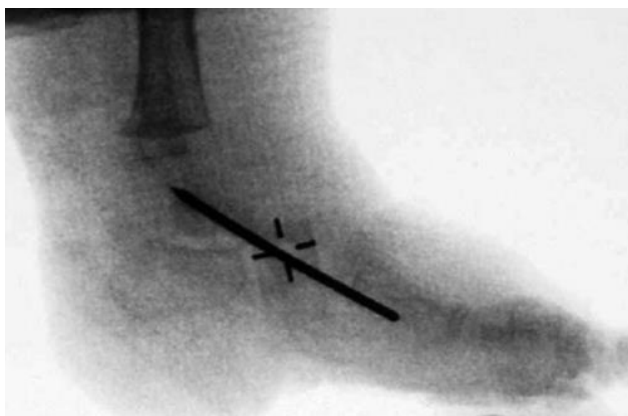
Talus verticalis je rigidní deformita s předpokládánou prevalencí 1:10000 živých porodů, odolná konzervativní terapii. Etiologie není přesně známa, možná je však genetická souvislost. U ochrnutých nohou se uvažuje o převaze tahu m. TA. Tato vada spočívá v dorsální luxaci os naviculare v talonavikulárním skloubení, což se zevně projeví kolébkovým tvarem planty. Talus se nachází v maximální plantiflexi, přičemž jeho dlouhá osa je vůči tibiální dlouhé ose paralelní (viz obr. 9) (Dungl, 2014, s. 960; Miller a Dobbs, 2015, s. 604; McKie a Radomisl, 2010, s. 145 Webster a Murphy, 2019, s. 309).

**Obrázek 9** Bilaterální talus verticalis u novorozence, dorzolaterální pohled (Miller a Dobbs, 2015, s. 605).



Miller a Dobbs (2015, s. 608, 610) zaznamenali výborné výsledky pomocí jemných manipulací v kombinaci s miniinvazivní operační léčbou, jež spočívá v přetěti Achillovy šlachy a zavedení Kirschnerova drátu (viz obr. 10) za účelem stabilizace talonavikulárního kloubu. Pacienti po absolvování této minimálně invazivní léčby netrpí takovými bolestmi či omezením pohyblivosti jako po tradičních chirurgických výkonech.

**Obrázek 10** Boční fluoroskopický snímek nohy pacienta s deformitou talus verticalis, zobrazující umístění Kirschnerova drátu (Miller a Dobbs, 2015, s. 609).



### 3.3.6 Podélně plochá noha

Podélně plochou nazveme nohu v případě, že vykazuje sníženou podélnou klenbu nohy s valgózním postavením patní kosti. Tato vada může být vrozená, ale i získaná. Popisujeme dva druhy této deformity, a to rigidní (talus verticalis) a flexibilní (pes calcaneovalgus). (Kolář, 2009, s. 510-511; Magee, 2008, s. 866).

Příčinou rozvoje získané podélně ploché nohy u dětí (pes planovalgus) může být laxicita vazů, špatná obuv či obezita (Dungl, 2014, s. 970). Kolář (2009, s. 510) označuje jako patologii valgozitu patní kosti nad 20°. Dle Vondrašové (2016, in Bajerová, 2016, s. 38) vzniká většina dětských plochých nohou na základě změněné osy dolních končetin ve smyslu valgozity, nikoliv v samotné noze. Tato vada je u dětí často bez symptomů, přičemž potíže se projeví až u dospívajících, zejména pak bolesti na vnitřní straně nohy.

**Obrázek 11** Oboustranná plochá noha s 30° valgozitou pat u 12-leté dívky indikovaná k operační léčbě. Na bočním záběru patrné kompletní vymizení podélné klenby (Dungl, 2014, s. 973).



Získaná podélně plochá noha dospělých je vada nohy, jež vzniká po ukončení růstu kostí. Nejvýznamnějším faktorem rozvoje ploché nohy u dospělých je nadměrná dlouhotrvající zátěž. Podíl může nést také hormonální nerovnováha či nošení nevhodné obuvi. Klinickým projevem jsou bolesti inferiorně a anteriorně od zevního kotníku, je bolestivé pasivní převádění nohy do supinace, šlachy peroneálních svalů a extenzorů prstů jsou napnuté. Pata je ve valgozitě, laterální okraj nohy v elevaci vůči podložce. Léčba je nejednotná, využívají se individuální vložky či ortopedická obuv. Chirurgická intervence je prováděna velmi zřídka (Dungl, 2014, s. 976-977; Kolář, 2009, s. 511).

## Závěr

Kompilace dosavadních informací ohledně strukturálního a funkčního vývoje nohy představovala cíl této práce.

První ze tří částí práce byla zaměřena na souvislosti z hlediska anatomie a kineziologie. Byl kladen důraz na co nejintenzivnější zařazení zejména anatomie funkční, terminologických zajímavostí a poznatků kineziologických, nicméně součástí kapitoly jsou také nezbytné úseky anatomie popisné. V rámci první části jsou tedy postupně popsány kosti nohy, podrobněji pak kloubní spojení včetně vazů a kloubních pouzder, následně je specifikována nožní klenba a její dělení. Konec první části je dedikován muskulatuře, jež se podílí na pohybech nohy.

Z důvodu embryologických popisů morfologického vývoje nohy bylo nutné zařadit do práce obecné ontogenetické poznatky, kterým je odkázána úvodní část druhé kapitoly. Jsou nastíněny souvislosti z obecné ontogeneze, dále je popsán vývoj končetin jako takových a v poslední řadě jsou uvedeny možnosti objektivizace staří embrya a plodu. Zbylá část druhé kapitoly představuje jedno ze dvou hlavních témat této práce, a sice vývoj nohy aspektem morfologickým. Jsou vysvětleny změny nohy z hlediska orientace v prostoru, a to zejména v období intrauterinním. Bylo zjištěno, že základ nohy, vytvořený koncem šestého týdne vývoje (Carnegie stádium 17), je plantární plochou orientován kraniálně, poté se stáčí a plosky začínají směřovat více mediálně. Ve stádiu 23 (osmý týden) se plosky nachází naproti sobě a dospělá orientace noha dosáhne až v týdnu třináctém. Ve druhé kapitole se také pojednává o kvantifikačních změnách nohy v období prenatálním, kde byla napříč autory zjištěna variabilita, a v období postnatálním. Následují poznatky z vývoje jednotlivých kostěných segmentů, ze kterých se kostra nohy skládá. Na vývoj kostí navazuje vývoj kloubních spojení nohy, svalů, šlach a vazů.

Třetí a poslední kapitola odkazuje na druhé hlavní téma této práce, tedy vývoj nohy z hlediska její funkce. Je odhaleno chápání funkce nohy očima různých autorů, dále je popsáno postupné funkční zařazení nohy do komplexního tělesného schématu, přičemž v prvním půl roce života představuje noha, podobně jako ruka, úchopový orgán. Její důležitost z hlediska opory je patrná až ve třetím trimestru z důvodu nadcházející vertikalizace jedince. V poslední řadě je vysvětleno formování kleneb nožních, jejichž základy jsou položeny ve třetím měsíci nitroděložního vývoje a ukončení jejího vývoje se napříč autory uvádí ve značném rozmezí, a sice od tří do osmi let života. Na závěr kapitoly jsou nastíněny nejčastější vrozené a získané vady nohy.

## Referenční seznam

AGIĆ, A., NIKOLIĆ, V., MIJOVIĆ, B. 2006. Foot anthropometry and morphology phenomena. *Collegium antropologicum*, 30(4), 815 Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/f3db/40c0780f4822bd3573b50c825e8facf1512e.pdf>

BACINO, C. A., HECHT, J. T. 2014. Etiopathogenesis of equinovarus foot malformations. *European Journal of Medical Genetics* [online]. 57(8), 5 [cit. 2019-04-16]. ISSN 17697212. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.ejmg.2014.06.001

BARRY, M. 2005. Prenatal assessment of foot deformity. *Early Human Development* [online]. 81(10), 794 [cit. 2019-04-16]. ISSN 03783782. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2005.06.013.

BERNHARDT, D. B. 1988. Prenatal and Postnatal Growth and Development of the Foot and Ankle. *Physical Therapy* [online]. 68(12), 1832 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: DOI: 10.1093/ptj/68.12.1831.

BOSCH, K., GERß, J., ROSENBAUM, D. 2010. Development of healthy children's feet – Nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns. *Gait & Posture* [online]. 32(4), 569-570 [cit. 2019-04-17]. ISSN 09666362. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.08.003

CARDY, A. H., BARKER, S., CHESNEY, D., SHARP, L., MAFULLI, N., MIEDZYBRODZKA, Z., 2007. Pedigree analysis and epidemiological features of idiopathic congenital talipes equinovarus in the United Kingdom: a case-control study. *BMC Musculoskeletal Disorders* [online]. 8(1) [cit. 2019-04-16]. ISSN 1471-2474. Dostupné z: DOI: 10.1186/1471-2474-8-62

CAREY, M., BOWER, C., MYLVAGANAM, A., ROUSE, I. 2003. Talipes equinovarus in Western Australia. *Paediatric and Perinatal Epidemiology* [online]. 17(2), 187 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0269-5022. Dostupné z: DOI: 10.1046/j.1365-3016.2003.00477.x

ČIHÁK, Radomír, Miloš GRIM a Oldřich FEJFAR. *Anatomie*. 1. 3., upr. a dopl. vyd. Ilustroval Milan MED, ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ. Praha: Grada Publishing, 2011, 534 s. ISBN 978-80-247-3817-8.

DUNGL, Pavel. *Ortopedie*. 2., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2014, xxiv, 1168 s. ISBN 978-80-247-4357-8.

DYLEVSKÝ, Ivan. *Anatomie dítěte*. 1. díl, Nipioanatomie. Ilustroval Tomáš LAUB. Praha: České vysoké učení technické, 2014, 427 s. ISBN 978-80-01-05094-1.

DYLEVSKÝ, Ivan. *Anatomie dítěte*. 2. díl, Nipioanatomie. Ilustroval Tomáš LAUB. Praha: České vysoké učení technické, 2017, 645 s. ISBN 978-80-01-06047-6.

DYLEVSKÝ, Ivan. *Funkční anatomie*. Praha: Grada Publishing, 2009, 532 s. ISBN 978-80-247-3240-4.

DYLEVSKÝ, Ivan. *Speciální kineziologie*. Praha: Grada Publishing, 2009, 180 s. ISBN 978-80-247-1648-0.

ELFTMAN, H. 1969. Dynamic structure of the human foot. *Artif Limbs*. 13(1), 49. Dostupné z: [http://www.oandplibrary.org/al/1969\\_01\\_049.asp](http://www.oandplibrary.org/al/1969_01_049.asp)

ELLIS, Harold a Vishy MAHADEVAN. *Clinical anatomy: applied anatomy for students and junior doctors*. 12th ed. Chichester: John Wiley, 2010, xii, 470 s. ISBN 978-1-4051-8617-9.

FOULSTON, J. 1987. Biomechanical analysis of foot structure and function. *Baillière's Clinical Rheumatology* [online]. 1(2), 258 [cit. 2019-04-16]. ISSN 09503579. Dostupné z: DOI: 10.1016/S0950-3579(87)80002-X

FRITZ, B., MAUCH, M. 2013. Foot development in childhood and adolescence. *Handbook of Footwear Design and Manufacture* [online]. Elsevier, 52-56 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: DOI: 10.1533/9780857098795.1.49.

GARDNER, E., GRAY, D. J., O'RAHILLY, R. 1959. The prenatal development of the skeleton and joints of the human foot. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 41(5), 853-873. Dostupné z: DOI: 10.2106/00004623-195941050-00005

GOSLING, J. A., Philip F. HARRIS, John R. HUMPHERSON, Ian WHITMORE a Peter L. T. WILLAN. *Human anatomy: color atlas and textbook*. Sixth edition. Edinburgh: Elsevier, 2017, xii, 437 s. ISBN 978-0-7234-3827-4.

GRAHAM, John M. a David W. SMITH. *Smith's recognizable patterns of human deformation*. 3rd ed. Philadelphia: Saunders/Elsevier, c2007. ISBN 9780721614892.

KNUTZEN, Kathleen a Joseph HAMILL. *Biomechanical basis of human movement*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1995, vi, 532 s. ISBN 068303863X.

HAMILL, Joseph, Kathleen KNUTZEN a Timothy R. DERRICK. *Biomechanical basis of human movement*. 4th edition. Philadelphia: Wolters Kluwer, [2015], xi, 484 s. International Edition. ISBN 978-1-4511-9404-3

HARLEY, John P., Robert CAROLA a Charles R. NOBACK. *Human anatomy and physiology*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1992, xl, 978 s., [101] s. ISBN 0070109648.

HILL, M.A. (2019, April 16) Embryology Carnegie Stages. Retrieved from [https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/Carnegie\\_Stages](https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/Carnegie_Stages)

JANDA, Vladimír. *Svalové funkční testy: kniha obsahuje 401 obrázků a 65 tabulek*. Praha: Grada Publishing, 2004, 325 s. ISBN 80-247-0722-5

KAPANDJI, Adalbert Ibrahim. *The physiology of the joints: annotated diagrams of the mechanics of the human joints*. Volume 2, Lower limb. 5th edition. Přeložil Louis HONORÉ, autor úvodu Gaston CORDIER. Edinburgh: Churchill Livingstone, [1987], 242 s. ISBN 0-443-03618-7.



KAWASHIMA, T. UHTHOFF, H. K. 1990. Development of the Foot in Prenatal Life in Relation to Idiopathic Club Foot. *Journal of Pediatric Orthopaedics* [online]. 10(2), 233 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0271-6798. Dostupné z: DOI: 10.1097/01241398-199010020-00020.

KELLOKUMPU-LEHTINEN, P. 1984. Age determination of early human embryos and fetuses. *Annals of Human Biology* [online]. 11(6), 567-568 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0301-4460. Dostupné z: DOI: 10.1080/03014468400007481

KERR, C.M., ZAVATSKY, A. B., THEOLOGIS, T., STEBBINS, J. 2018. Kinematic differences between neutral and flat feet with and without symptoms as measured by the Oxford foot model. *Gait & Posture* [online]. 67, 10 [cit. 2019-04-16]. ISSN 09666362. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.10.015.

KOLÁŘ, Pavel. *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén, c2009, xxxi, 713 s. ISBN 978-80-7262-657-1.

LEBL, Jan, Kamil PROVAZNÍK a Ludmila HEJCMANOVÁ. *Preklinická pediatrie*. Praha: Galén, 2003, xiv, 248 s. ISBN 8072622072.

LEGER, Dawn L. a Angela LIS. *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. 3rd ed. Editor Margareta NORDIN, editor Victor H. FRANKEL, ilustroval Kasja FORSSÉN. Maryland, Md.: Lippincott Williams & Wilkins, c2001, xvii, 467 s. ISBN 0683302477.

MAGEE, David J. *Orthopedic physical assessment*. 5th ed. St. Louis, Mo.: Saunders Elsevier, c2008, xi, 1138 s. Muskuloskeletal rehabilitations series. ISBN 978-0-7216-0571-5.

MALAS, M. A., SALBACAK, A., SULAK, O. 2001. The growth of the upper and lower extremities of Turkish fetuses during the fetal period. *Surgical and Radiologic Anatomy* [online]. 22(5-6), 250-251 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0930-1038. Dostupné z: DOI: 10.1007/s00276-000-0249-2

MALÍNSKÝ, Jiří a Václav LICHNOVSKÝ. *Přehled embryologie člověka v obrazech*. 4. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2008, 176 s. Skripta. ISBN 978-80-244-2251-0.

MCKIE, J., RADOMISLI, T. 2010. Congenital Vertical Talus: A Review. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery* [online]. 2010, 27(1), 145 [cit. 2019-05-02]. ISSN 08918422. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.cpm.2009.08.008

MERZ, E., OBERSTEIN, A., WELLEK, S. 2000. Age-Related Reference Ranges for Fetal Foot Length. *Ultraschall in der Medizin* [online]. 21(02), 79,81 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0172-4614. Dostupné z: DOI: 10.1055/s-2000-318

MIEDZYBRODZKA, Z. 2003. Congenital talipes equinovarus (clubfoot): a disorder of the foot but not the hand. *Journal of Anatomy* [online]. 202(1), 39 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0021-8782. Dostupné z: DOI: 10.1046/j.1469-7580.2003.00147.x

MILLER, M., DOBBS. M. B. 2015. Congenital Vertical Talus. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* [online]. 2015, 23(10), s. 604-610 [cit. 2019-04-16]. ISSN 1067-151X. Dostupné z: DOI: 10.5435/JAAOS-D-14-00034

MOORE, Keith L. a T. V. N. PERSAUD. *Zrození člověka: embryologie s klinickým zaměřením*. Přeložil Richard JELÍNEK. Praha: ISV nakladatelství, 2002, xiv, 564 s. ISBN 8085866943.

MUSCOLINO, Joseph E. *Kinesiology: the skeletal system and muscle function*. 2nd ed. St. Louis, Mo.: Mosby-Elsevier, c2011, xiv, 690 s. ISBN 978-0-323-06944-1.

O'RAHILLY, R., GARDNER. E. 1975. The timing and sequence of events in the development of the limbs in the human embryo. *Anatomy and Embryology* [online]. 148(1), s. 18-19 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0340-2061. Dostupné z: DOI: 10.1007/BF00315559.

O'RAHILLY, R., MÜLLER, F. 2010. Developmental Stages in Human Embryos: Revised and New Measurements. *Cells Tissues Organs* [online]. 192(2), s. 74-75 [cit. 2019-04-16]. ISSN 1422-6421. Dostupné z: DOI: 10.1159/000289817

PATTON, Kevin T. a Gary A. THIBODEAU. *Anatomy & physiology*. 7th ed. St. Louis, Mo.: Mosby-Elsevier, 2010, 1 sv. ISBN 978-0-323-05532-1.

PERRY, Jacquelin a Judith M. BURNFIELD. *Gait analysis: normal and pathological function*. 2nd ed. Ilustroval Lydia M. CABICO. Thorofare, N.J.: SLACK, c2010, xvi, 551 s. ISBN 978-1-55642-766-4.

PETROVICKÝ, Pavel. *Anatomie s topografií a klinickými aplikacemi*. I. svazek, Pohybové ústrojí. Martin: Vydavatel'stvo Osveta, [2001], 463 s. ISBN 80-8063-046-1.

SADLER, T. W. a Jan LANGMAN. *Langmanova lékařská embryologie*. Přeložil Jiří BRABEC. Praha: Grada Publishing, 2011, xviii, 414 s. ISBN 978-80-247-2640-3.

SAMMARCO, G. James. *Rehabilitation of the foot and ankle*. St. Louis: Mosby, 1995, xiv, 402 s. ISBN 0801677718.

SKALIČKOVÁ-KOVÁČIKOVÁ, V. 2016. Dětská noha a její problémy, principy rehabilitace. *Umění fyzioterapie*. 1(1), 21-22. ISSN 2464-6784.

SKELLY, A. C., HOLT, V. L., MOSCA, V. S., ALDERMAN, B. W. 2002. Talipes equinovarus and maternal smoking: A population-based case-control study in Washington state. *Teratology* [online]. 66(2), 91 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0040-3709. Dostupné z: DOI: 10.1002/tera.10071

SOSNA, Antonín, Martin KRBEK, David POKORNÝ a Pavel VAVŘÍK. *Základy ortopedie*. Praha: Triton, 2001, 175 s. ISBN 8072542028.

UHTHOFF, Hans K. *The embryology of the human locomotor system*. New York: Springer-Verlag, 1990. ISBN 0387520287.

VAŘEKA, Ivan a Renata VAŘEKOVÁ. *Kineziologie nohy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 189 s. Monografie. ISBN 9788024424323.

VÉLE, František. *Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. Vyd. 2., (V Tritonu 1.). Praha: Triton, 2006. ISBN 80-7254-837-9.

VILADOT, A., LORENZO, J. C., SALAZAR, J., RODRIGUEZ, A. 1984. The Subtalar Joint: Embryology and Morphology. *Foot & Ankle* [online]. 5(2), 55-56 [cit. 2019-04-16]. ISSN 0198-0211. Dostupné z: DOI: 10.1177/107110078400500203

VOJTAŠŠÁK, Jozef. *Ortopédia*. Bratislava: Slovak Academic Press, 1998, 749 s. ISBN 8088908000.

VOLPON, J. B. 1994. Footprint analysis during the growth period. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 14(1), 83. Dostupné z: DOI: 10.1097/01241398-199401000-00017

VONDRAŠOVÁ, P. 2016. Kinezioterapie versus podologie detské nohy. *Umění fyzioterapie*. 1(1), 38. ISSN 2464-6784.

WALTHER, M., HEROLD, D., SINDERHAUF, A., MORRISON, R., 2008. Children sport shoes—A systematic review of current literature. *Foot and Ankle Surgery* [online]. 14(4), 180-181 [cit. 2019-04-16]. ISSN 12687731. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.fas.2008.04.001.

WEBSTER, Joseph B. a Douglas MURPHY. *Atlas of orthoses and assistive devices*. Fifth edition. Philadelphia, PA: Elsevier, [2019]. ISBN 9780323483230.

## Seznam zkratek

a.	arteria
art.	articulatio
artt.	articulationes
CNS	centrální nervová soustava
CRL	crown-rump length
EMG	elektromyografie
GL	greatest length
IP	interphalangeální
lig.	ligamentum
m.	musculus
mm.	musculi
MTP	metatarsophalangeální
PEC	pes equinovarus congenitus
PNS	periferní nervová soustava
TA	tibialis anterior
TP	tibialis posterior

## Seznam grafů

<b>Graf 1</b> Růst délky nohy v milimetrech (5., 50. a 95. percentil) v závislosti na stáří plodu (v týdnech) (Merz, Oberstein a Wellek, 2000, s. 81). .....	24
--	----

## Seznam tabulek

<b>Tabulka 1</b> Komparace délky tarsálních kostí při narození (v milimetrech) a nabytí dospělého tvaru kosti (věk dítěte v letech) (Dylevský, 2014, s. 396-400) .....	26
--	----

## Seznam obrázků

<b>Obrázek 1</b> Distribuce tíhové síly těla skrze talus (Kapandji, 1987, s. 175). .....	11
<b>Obrázek 2.</b> Zatížení nohy stojícího dospělého člověka (A, 25 let) a osmiletého dítěte (J). Dodržena normativní výška a hmotnost těla pro danou věkovou kategorii, hodnoty tlaku v kPa (Dylevský, 2017, s. 138).....	16
<b>Obrázek 3</b> Paprsky podélné nožní klenby a hlavní tlakové body skeletu nohy (Dylevský, 2017, s. 139). .....	18
<b>Obrázek 4</b> Orientace lidské nohy v polovině pátého vývojového týdne (A), v polovině sedmého týdne (B), v osmém týdnu (C) a v týdnu dvanáctém (D) (Jahss, 1982, in Bernhardt, 1988, s. 1832). .....	23
<b>Obrázek 5</b> Metatarsus adductus vzniklý polohou na bříše (Dungl, 2014, s. 944).....	31
<b>Obrázek 6</b> Pes calcaneovalgus (Dungl, 2014, s. 945). .....	32
<b>Obrázek 7</b> Složky pes equinovarus congenitus (Magee, 2008, s. 863).....	33
<b>Obrázek 8</b> Bilaterální pes equinovarus congenitus (Miedzybrodzka, 2003, s. 39).....	33
<b>Obrázek 9</b> Bilaterální talus verticalis u novorozence, dorzolaterální pohled (Miller a Dobbs, 2015, s. 605). .....	34
<b>Obrázek 10</b> Boční fluoroskopický snímek nohy pacienta s deformitou talus verticalis, zobrazující umístění Kirschnerova drátu (Miller a Dobbs, 2015, s. 609). .....	35
<b>Obrázek 11</b> Oboustranná plochá noha s 30° valgozitou pat u 12-leté dívky indikovaná k operační léčbě. Na bočním záběru patrné kompletní vymizení podélné klenby (Dungl, 2014, s. 973). .....	35



## Seznam příloh

<b>Příloha 1</b> Vztah mezi Carnegie stádii, postovulačním stářím a délkou embrya (Hill, 2019 upraveno).....	50
<b>Příloha 2</b> Délka nohy mezi 7. a 16. menstruačním týdnem (Kellokumpu, 1984, s. 568, upraveno).....	51
<b>Příloha 3</b> Délka a šířka nohy ve vztahu k menstruačnímu stáří jedince (Malas, 2001, s. 252, upraveno).....	51

## Přílohy

**Příloha 1** Vztah mezi Carnegie stádii, postovulačním stářím a délkou embrya (Hill, 2019 upraveno)

Carnegie stádium	Postovulační věk (dny)	Délka (v mm)
1	1	0,1 – 0,15
2	2 – 3	0,1 – 0,2
3	4 – 5	0,1 – 0,2
4	6	0,1 – 0,2
5	7 – 12	0,1 – 0,2
6	13 – 15	0,2
7	15 – 17	0,4
8	17 – 19	1 – 1,5
9	19 – 21	1,5 – 2,5
10	22 – 23	2 – 3,5
11	23 – 26	2,5 – 4,5
12	26 – 30	3 – 5
13	28 – 32	4 – 6
14	31 – 35	5 – 7
15	35 – 38	7 - 9
16	37 – 42	8 – 11
17	42 – 44	11 – 14
18	44 – 48	13 – 17
19	48 – 51	16 – 18
20	51 – 53	18 – 22
21	53 – 54	22 – 24
22	54 – 56	23 – 28
23	56 – 60	27 – 31

**Příloha 2** Délka nohy mezi 7. a 16. menstruačním týdnem (Kellokumpu, 1984, s. 568, upraveno)

Menstruační věk (týdny)	Počet měřených jedinců	Průměrná délka nohy (mm)	Směrodatná odchylka (mm)
7	1	2,9	
8	17	4,22	2,11
9	46	5,89	2,78
10	33	6,22	3,06
11	46	6,84	3,25
12	37	8,5	2,17
13	11	9,32	4,95
14	6	11,42	5,37
16	4	18,45	6,67

**Příloha 3** Délka a šířka nohy ve vztahu k menstruačnímu stáří jedince (Malas, 2001, s. 252, upraveno)

Menstruační věk (týdny)	Počet měřených jedinců	Průměrná délka nohy (mm)	Průměrná šířka nohy (mm)
10	4	10	3
11	4	11	3
12	6	11	5
13	2	15	7
14	2	20	7
15	3	21	8
16	2	24	8
17	3	25	8
18	4	26,5	9
19	3	29,3	11
20	2	32,5	13
21	3	33	13
22	2	36	14
23	2	37	15

24	2	39	15
25	2	43	16
26	2	45	17
27	2	50,5	18,5
28	3	52,5	20
29	3	54	21
30	4	54,5	22
31	3	55	22
32	4	55,8	22,4
33	4	62,6	24,6
34	3	63	26
35	2	65	26
36	3	66	27
37	3	68	28,5
38	7	70,5	31,5
39	7	78	34,6
40	10	78	37